

モーションシャープニング現象の画像処理への応用と
反応拡散系による実現可能性

視覚の非線形科学に関するミニ研究会 [June 15-16, 2012]

山口大学大学院理工学研究科
大高 洗輝, 長 篤志

はじめに

- 画像処理の対象は内視鏡画像
- 内視鏡を用いて撮影された胃内部の動画

はじめに

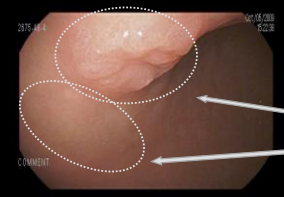
原画像 鮮鋭化画像



COMMENT

- 静止画像を撮影すると全体にモヤがかかったように不明瞭となる。
- 静止画像を鮮明に観察する手法を提案する。

はじめに



表面テクスチャが不明瞭

不明瞭の原因

- シャッタースピードが遅い。
- インタレースの影響。
- 動いているときは視覚処理を受けて鮮明に見えていたが、静止しているときは元のぼやけた画像が見える。

はじめに

- 注目対象が静止した状態で観察するより、移動している状態で連続的に観察した方が対象物体をより鮮明に捉え得るという現象がある。
【モーションシャープニング現象】
- 例：
1)ある化学反応の様子を撮影した動画像。

はじめに

- この現象を利用した画像強調手法によって、人の目により鮮鋭化された画像を提示できる可能性がある。
- ⇒本研究グループで画像強調手法が開発されている。

長 篤志, 三浦 一幸, 杉村 敦彦, 藤嶋 賢祐, 三宅 秀敏, モーションシャープニング現象モデルによる画像の先鋭化. 画像電子学会研究会予稿, 09-02-09, pp.49-54, (2009)10月23日

従来手法(空間的)

- 物体の境界を見かけ上より鮮明に観察させる.
- 鮮鋭化処理の一手法:UnSharp Masking (USM)
- ⇒画像における空間周波数の高周波数成分を強調する.

(a)Original signal (b)Blurred signal = (c)Unsharp mask

(a)Original signal (c)Unsharp mask = (d)Sharpened signal

従来手法(時間的)

USM(従来手法, 空間的) t-USM(時間的)

長尾忠, 三浦一幸, 杉村敦彦, 藤崎賢祐, 三池秀敏, モーションシャープニング現象モデルによる画像の鮮鋭化, 画像電子学会研究会予稿, 09-02-09, pp.49-54, 2009.10月23日.

USM 処理結果

対流波

gain:100%

gain:300%

t-USM 処理結果

対流波

原画像 t-USM処理結果

動画像中で変化していたり, 移動していたりする対象に関しては鮮鋭化が可能であるが, 静止している対象には鮮鋭化効果は無い.

目的 (1)

- カラー画像への適用方法, ならびにその効果について議論する必要がある.

対流波

原画像 処理結果

原画像

要検討

目的 (1)

- t-USMを拡張
 - ⇒動画像中で動きのある対象だけでなく静止している対象も鮮鋭化効果を得られるようにする
- カラー画像処理への拡張
 - ⇒内視鏡画像へ対する鮮鋭化処理としての適用可能性を検討

13

従来手法(時間的): Temporally UnSharp Masking (t-USM)

- 画像の濃淡値の時間変化を増幅する。
- USMを画像データの時間変化へのフィルタリング処理へと拡張したものに等しい。

$$f_{tUSM}(x, y, t) = \frac{1}{\delta T + 1} \sum_{j=-\delta T/2}^{\delta T/2} f(x, y, t + j)$$

$$f_{stUSM}(x, y, t) = f(x, y, t) + \alpha [f(x, y, t) - f_{tUSM}(x, y, t)]$$

$$= (1 + \alpha) f(x, y, t) - \alpha f_{tUSM}(x, y, t)$$

f : 入力
 f_{tAV} : (時間)平均
 f_{stUSM} : 出力
 δT : f_{tAV} に含まれる周囲フレーム枚数
 α : ゲイン(強調の度合いを表すパラメータ)

鳥居 龍三, 三浦 一幸, 杉村 敦彦, 西橋 賢祐, 三池 秀樹, モーションシャープニング画像モデルによる画像の劣化化, 画像電子学会研究会予稿, 09-02-09, pp.49-54, (2009)10月21日

14

提案手法: Spatio-Temporal UnSharp Masking (st-USM)

- t-USMを拡張したもの。

$$f_{tAV}(x, y, t) = f(x, y, t) \otimes g(x, y)$$

f_{tAV} : (空間)平均
 g : (空間)平均算出用フィルタ 右図参照

0	1/5	0
1/5	1/5	1/5
0	1/5	0

$g(x, y)$

$$f_{stUSM}(x, y, t) = \frac{1}{\delta T + 1} \sum_{j=-\delta T/2}^{\delta T/2} f_{tAV}(x, y, t + j)$$

$$f_{stUSM}(x, y, t) = f(x, y, t) + \alpha [f(x, y, t) - f_{stUSM}(x, y, t)]$$

$$= (1 + \alpha) f(x, y, t) - \alpha f_{stUSM}(x, y, t)$$

f : 入力, f_{tAV} : (時空間)平均, f_{stUSM} : 出力
 δT : f_{tAV} に含まれる周囲フレーム枚数
 α : ゲイン(強調の度合いを表すパラメータ)

Ohata, K., Ota, A., Sugimura, A., Miho, H., Ikemoto, Y., Fukuda, M., Koshiyama, Y., "Motion Sharpening and Its Stabilization Using Optic Flow Fields", International Workshop Advanced Image Technology, 2011, 111-121, 07-08.

15

■RGBの各チャンネルに対しst-USMを適用した
 $\delta T = 8$
 $\alpha = 2.0$ に設定

■結果:
 色のノイズが目立つ
 チャンネル毎の強調の違いによって, 処理後の画像の色色相が原画像と大きく異なってしまう可能性がある。

処理後(st-USM)の画像

16

$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$
 $U = -0.169R - 0.3316G + 0.500B$
 $V = 0.500R - 0.4186G + 0.0813B$

Y (輝度)
 U (青-黄軸)
 V (赤-緑軸)

17

YUV表色系における強調処理

原画像の色味を保持する方針

- RGBをYUVへ変換
- Y: 鮮鋭化(st-USM)
- Y: 鮮鋭化(st-USM), UV: 平滑化

$\delta T = 8, \alpha = 2.0$ に設定

Y: 鮮鋭化
 Y: 鮮鋭化, UV: 平滑化

18

病変部・正常部の色変化の強調処理

病変部をより観察しやすいとする方針

■病変部診断時により重要な手掛かりとなるのは色変化

原画像
 病変部・正常部の境界線の目安

19

YUV表色系における強調処理

病変部をより観察しやすくする方針

- RGBをYUVへ変換
- V:強調処理(st-USM)

$\alpha = 3.0$ に設定

原画像

V:強調 ($\delta T=2$)

V:強調 ($\delta T=8$)

20

目的 (2)

- 病変部・正常部の色変化を強調する手法を提案する
- 提案した色強調手法の効果について議論する

21

色の強調手法 (1)

- 病変部と正常部の色の違いを分析した後に、その違いを強調する

① 病変部および正常部のRGB各チャンネルの濃淡値をRGB色空間上にプロット

※明度の影響を除去するため等輝度平面上へ投影した

22

色の強調手法 (1)

- ② 病変部の色分布の主成分分析を行う
- ③ 得られた第1主成分(PC₁),第2主成分(PC₂)および輝度(Y)を軸とするYPC₁PC₂表色系を定義
- ④ PC₁に対してst-USMによる強調処理を行う

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$PC_1 = v_{1R}R + v_{1G}G + v_{1B}B$$

$$PC_2 = v_{2R}R + v_{2G}G + v_{2B}B$$

$v_1 = (v_{1R}, v_{1G}, v_{1B})$: 第1固有ベクトル
 $v_2 = (v_{2R}, v_{2G}, v_{2B})$: 第2固有ベクトル

23

色の強調処理結果

Y, PC₁, PC₂表色系におけるPC₁の強調

- RGBをY, PC₁, PC₂へ変換
- PC₁: 強調処理(st-USM)

$\alpha = 3.0$ に設定

原画像

PC₁: 強調 ($\delta T=2$)

PC₁: 強調 ($\delta T=8$)

24

色の強調手法 (2)

- 病変部と正常部における色の違いの強調を彩度だけではなく、色相の違いとして提示

① PC₁に対してst-USMによる強調処理を行った後、PC₁画像の平均値を0とする

$$PC_{1Av}(t) = \frac{1}{n \times m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m PC_{1stUSM}(x_i, y_j, t)$$

$$PC_{1s}(x, y, t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [PC_{1stUSM}(x_i, y_j, t) - PC_{1Av}(t)]$$

$PC_{1stUSM}(x, y, t)$: PC₁にst-USMを適用した画像
 $PC_{1Av}(t)$: PC₁画像内の平均値
 $PC_{1s}(x, y, t)$: PC₁の平均値を0とした画像
 n : 画像のx方向の画素数
 m : 画像のy方向の画素数

25

色の強調処理結果

PC₁画像の強調処理後その平均値を0とする

- RGBをY, PC₁, PC₂へ変換
- PC₁:強調処理(st-USM)
- PC₁の平均値を0へシフト $\alpha = 3.0$ に設定

原画像

PC₁:強調 ($\delta T=2$)

PC₁:強調 ($\delta T=8$)

26

主観評価実験

- 色の強調処理の効果を議論するため、Thurstoneの一対比較法*による主観評価実験を行った
- 実験参加者：大学生・大学院生20名(男性13名, 女性7名)
- 観察用モニター：EIZO ColorEdge CG243W
- 視距離：60cm
- 評価項目：色の境界の識別しやすさ(色の境界部分については目安となる境界線を教示)
- 評価画像：内視鏡画像から病変部を切り出した画像7種類

教示した病変部・正常部の境界線の目安

画像評価時の様子

*感覚・知覚心理学ハンドブック 大田正 今井春彦, 和気貞二(編), pp.46-48, (株)誠信書房, 東京, 2007

27

評価画像一覧

切り出し部位

V:強調 ($\delta T=2$)

V:強調 ($\delta T=8$)

原画像

PC₁:強調 ($\delta T=2$)

PC₁:強調 ($\delta T=8$)

PC_{1s}:強調 ($\delta T=2$)

PC_{1s}:強調 ($\delta T=8$)

28

色の境界の識別しやすさを評価した一対比較結果

(O: 原画像, V: V強調画像, PC₁: PC₁強調画像, PC_{1s}: PC₁強調後平均値を0へシフトさせた画像. 各列の画像が各行の画像より「色の境界が識別しやすい」と答えた参加者の数を表す)

より	O	V ($\delta T=2$)	V ($\delta T=8$)	PC ₁ ($\delta T=2$)	PC ₁ ($\delta T=8$)	PC _{1s} ($\delta T=2$)	PC _{1s} ($\delta T=8$)
O		9	11	13	10	13	16
V ($\delta T=2$)	11		12	11	12	18	17
V ($\delta T=8$)	9	8		12	10	14	16
PC ₁ ($\delta T=2$)	7	9	8		11	16	15
PC ₁ ($\delta T=8$)	10	8	10	9		14	16
PC _{1s} ($\delta T=2$)	7	2	6	4	6		10
PC _{1s} ($\delta T=8$)	4	3	4	5	4	10	
total	48	39	51	54	53	85	90

29

色の境界が識別しにくい ← 尺度値 → 色の境界が識別しやすい

色境界の識別しやすさの心理尺度値

- Vの強調処理はある程度の色境界の強調効果を得ることができることもあれば、 δT の選び方によっては原画像よりも色の境界の識別が困難になる
- PC₁およびPC_{1s}は δT が2であっても8であっても、原画像やV画像強調よりも色の境界を識別しやすくなっていた
- PC₁は、 δT が2でも8でも得られる色変化の強調効果は同程度
- PC_{1s}は、原画像や他の強調画像に比べ病変部と正常部の色変化の強調効果が大きい
- PC_{1s}は、 δT は2より8を使用の方が強調効果は大きいことが確認できた
- 提案手法、特にPC_{1s}画像に対するst-USMによる強調処理は内視鏡画像における病変部・正常部の色変化の強調処理として有効である可能性が示唆された

30

まとめ

- 内視鏡画像を対象にモーションシャープニング現象を応用した画像処理手法を提案した
- 原画像の色味を保持したまま表面テクスチャの鮮鋭化に成功した
- 病変部・正常部の色変化を強調する手法を提案し、有効である可能性があることを確認した

31

今後の課題

- 表面テクスチャの強調と色強調を組み合わせた際、そのバランスに関して今後検討が必要
(主観評価時、参加者から病変部の凹凸によるエッジを色の境界として見てしまうという意見を得た)
- 色のコントラストを議論する定量的な指標の導入について検討が必要

32

今後の展望

- 反応拡散モデルにより生物に関連する様々な現象が記述 (or 模擬) できる
 - ～形態形成[1]や模様形成[2]、神経パルス伝播[3]など

[1]A.Gierer and H.Meinhardt, "A theory of biological pattern formation", Kybernetik, Vol.12, pp.30-39, 1972

[2]S.Kondo and R.Asai, "A reaction-diffusion wave on the marine angelfish Pomacanthus", Nature, Vol.376, pp.765-768, 1995

[3]J.Nagumo,S.Arimoto,and S.Yoshizawa,"An active pulse transmission line simulating never axon", In Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Vol.50, pp.2061-2070, 1962

33

今後の展望

- 本研究グループでは反応拡散系と視覚系との関連性を示唆するいくつかの考察が行われている

[4]A.Nomura, M.Ichikawa and H.Miike, "SOLVING RANDOM-DOT STEREOGRAMS WITH A REACTION-DIFFUSION MODEL UNDER THE TURING CONDITION", Proceeding of the 10th International DAAAM Symposium, 385(1999)

[5]A.Nomura, M.Ichikawa, H.Miike, M.Ebihara, H.Mahara and T.Sakurai, "Realizing Visual Functions with the Reaction-Diffusion Mechanism", Journal of Physical Society of Japan, Vol.72, No.9, September, pp.2385-2395, 2003

[6]野村厚志, 一川誠, 三池秀敏, "反応・拡散モデルによる群化過程の実現", 情報処理学会論文誌—コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.45, No.SIG8, pp.26-39, 2004

[7]三浦一幸, "離散FitzHugh-Nagumo系における特徴抽出機能の定性的解析と応用", 山口大学大学院理工学研究科2009年度博士論文

34

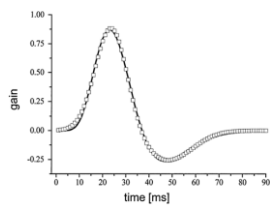
今後の展望

- 非線形系の持つ自己組織化機能を利用した新しい画像処理手法に関する研究([4]~[6])
- 錯視現象の再現を試みることで視覚系との関連性を考察([7])
- モーションシャープニング現象の反応拡散系による実現可能性については未検討

35

今後の展望

- 既存のモーションシャープニング現象モデル*では、視覚の時間応答特性を抑制性の信号と興奮性の信号の重ね合わせで説明している



瞬間提示された視覚刺激に対する反応において、抑制性の信号の波が、興奮性の信号の波よりも早く伝搬するというモデル

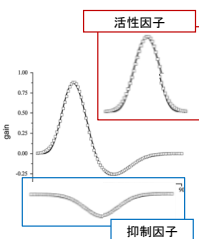
モーションシャープニング現象を説明するモデル(*より引用)

*A. K. Piskiköinen, and M. J. Morgan, Linear mechanisms can produce motion sharpening, Vision Res., vol. 41, pp.2771-2777, 2001

36

今後の展望

- FitzHugh-Nagumoモデルのように活性因子(u)と抑制因子(v)を含むモデルを拡張することで実現できるのでは!?



FitzHugh-Nagumoモデル

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_u \nabla^2 u + f(u, v)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g(u, v)$$

$$f(u, v) = \frac{1}{\epsilon} [u(1-u)(u-a) - v]$$

$$g(u, v) = u - bv$$

$u = u(x, y, t)$: 活性因子濃度
 $v = v(x, y, t)$: 抑制因子濃度
 D_u : 活性因子の拡散係数
 a, b, ϵ : 定数